

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-250108

(43)Date of publication of application : 09.09.1994

(51)Int.Cl.

G02B 27/00
B23K 26/00
B23K 26/06
G02B 23/00
G02B 26/08
G02F 1/13

(21)Application number : 05-031989

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 22.02.1993

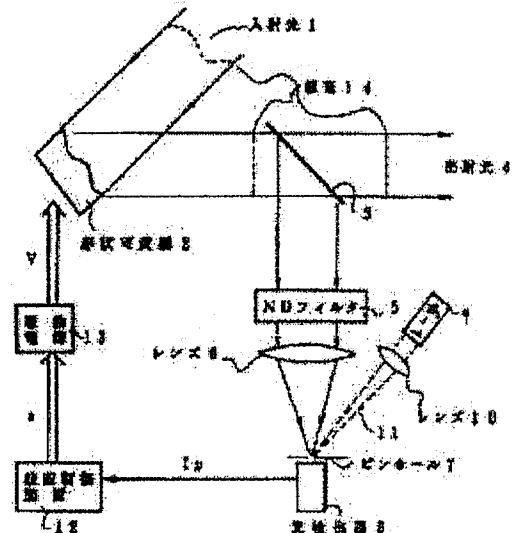
(72)Inventor : ICHINOSE YUJI

(54) COMPENSATION OPTICAL DEVICE AND ASTRONOMICAL TELESCOPE, OPTICAL DATA LINK, AND LASER WORKING MACHINE USING SAME

(57)Abstract:

PURPOSE: To compensate the wave front distortion even for a weak light.

CONSTITUTION: When an incident light 1 is reflected by a shape variable mirror 2 to compensate the distortion of a wave front 14, the reflected light is phase modulated by vibrating every region of the reflection surface of the mirror 2 using different frequencies. The phase modulated light is taken out by a beam splitter 3 and converged on a pin hole 7 by a lens 6. The converged light is interfered with a laser beam 11 outputted from a laser oscillator 9 and the light intensity is detected by a photodetector 8. A wave front controller 12 separates each phase modulated signal based on the light intensity, the amount of advance or retard of an actuator placed at each region of the mirror is decided by the signal and the regions are driven through a driving power supply 13. Since the detected each phase modulated signal is an alternating signal, the signal is amplified by the interference with the laser beam and the compensation is made for the distortion of weak light wave front whose intensity is less than the receiving level of the photodetector.



(51)Int.Cl.⁵
 G 0 2 B 27/00
 B 2 3 K 26/00
 26/06
 G 0 2 B 23/00
 26/08

識別記号 庁内整理番号
 E 7036-2K
 M 7425-4E
 E 7425-4E
 J 9226-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数10 OL (全12頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願平5-31989

(22)出願日 平成5年(1993)2月22日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 一ノ瀬 祐治

茨城県日立市大みか町七丁目2番1号 株式会社日立製作所エネルギー研究所内

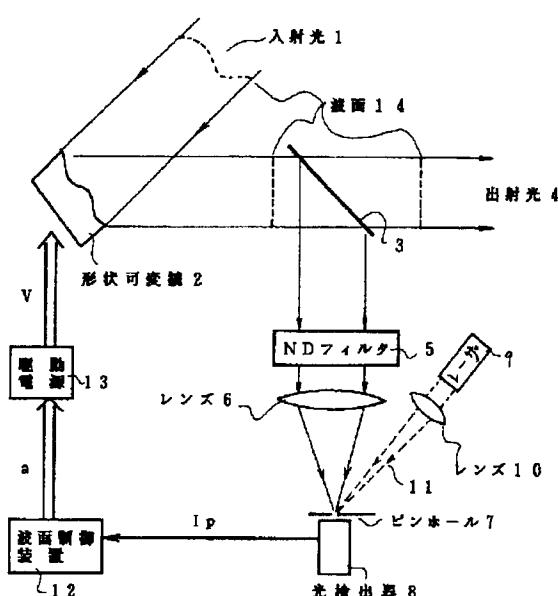
(74)代理人 弁理士 秋本 正実

(54)【発明の名称】補償光学装置とこれを用いた天体望遠鏡、光データリンク、レーザ加工機

(57)【要約】

【目的】微弱な光でもその波面のゆがみを補正する。
 【構成】入射光1を形状可変鏡2で反射させて波面1-4の歪を補正するとき、形状可変鏡2の反射面の領域毎に該反射面を異なる周波数で振動させて反射光を位相変調する。位相変調させた光を、ビームスプリッタ3で取り出してレンズ6でピンホール7上に集光し、この集光された光にレーザ発振器9から出力されるレーザビーム11を干渉させ、光検出器8で光強度を検出する。波面制御装置12はこの光の強度に基づいて各位相変調信号を分離し、その信号より、形状可変鏡の各領域毎に配置されたアクチュエータの進退量を決定し駆動電源13を介して駆動する。検出する各位相変調信号は交流信号であるため、レーザビームとの干渉で增幅し、光検出器の受信レベル以下の弱い光の波面の補正も可能となる。

【図1】



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光波の波面歪を検出し波面歪を補正する補償光学装置において、波面歪を補正する形状可変鏡と、該形状可変鏡の反射面の特定の領域毎に光波を異なる周波数で位相変調する手段と、位相変調された光波を集光したものとレーザビームとを干渉させた後にその強度を検出する手段と、該強度から前記波面の歪みを検出し形状可変鏡を制御する手段とを備えることを特徴とする補償光学装置。

【請求項2】 光波の波面歪を検出し波面歪を補正する補償光学装置において、波面歪を補正する形状可変鏡と、波面が補正された該形状可変鏡の反射光を入射光とする液晶素子を二次元的に配列した液晶マトリクスと、各液晶素子毎に印加する電界を制御して前記入射光の位相変調を行う手段と、位相変調された光波を集光したものとレーザビームとを干渉させた後にその強度を検出する手段と、該強度から前記波面の歪みを検出し形状可変鏡を制御する手段とを備えることを特徴とする補償光学装置。

【請求項3】 光波の波面歪を検出し波面歪を補正する補償光学装置において、波面歪を補正する光波を入射光とする液晶素子を二次元的に配列した液晶マトリクスと、各液晶素子毎に印加する電界を制御して前記入射光の波面の歪みを補正すると共に位相変調を行う制御手段と、位相変調された光波を集光したものとレーザビームとを干渉させた後にその強度を検出する手段と、該強度から前記波面の歪みを検出し前記制御手段を制御する手段とを備えることを特徴とする補償光学装置。

【請求項4】 請求項1乃至請求項3のいずれかにおいて、前記位相変調した光波を特定波長のみ透過する光学フィルタを通した後に集光し該特定波長と同一波長のレーザビームと干渉させることを特徴とする補償光学装置。

【請求項5】 請求項1乃至請求項4のいずれかにおいて、干渉させるレーザビームを干渉させる位置に集光させる手段を設けたことを特徴とする補償光学装置。

【請求項6】 天体を観測する天体望遠鏡において、請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の補償光学装置を設け、観測する光の波面歪を補正した後に観測することを特徴とする天体望遠鏡。

【請求項7】 請求項6において、レーザ発振器と該レーザ発振器からのレーザビームを観測対象の天体方向へ出射する手段とを設けたことを特徴とする天体望遠鏡。

【請求項8】 遠方に離れた二点間でレーザビームにより情報を伝達する光データリンクにおいて、受信したレーザビームから波面の歪を検出する手段と、該手段で検出した波面と位相共役な波面を持つレーザビームを送信する手段とを設けたことを特徴とする光データリンク。

【請求項9】 遠方に離れた二点間でレーザビームにより情報を伝達する光データリンクにおいて、請求項1乃

至請求項5のいずれかに記載の補償光学装置を設けたことを特徴とする光データリンク。

【請求項10】 加工材にレーザを照射することにより加工材を加工するレーザ加工機において、請求項1乃至請求項5のいずれかに記載の補償光学装置を設け、加工材に照射されるレーザビームの波面を揃えることを特徴とするレーザ加工機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10 【産業上の利用分野】本発明はレーザビーム等の光波の波面の歪みを検出しこれを補正して波面を揃える補償光学装置に係り、特に、微弱な光波でもその波面の歪みを精度良く検出して補正するのに好適な補償光学装置と、この補償光学装置を備える天体望遠鏡、光データリンク、レーザ加工機に関する。

【0002】

【従来の技術】天体を望遠鏡で観測する場合、星から地球に届いた微弱な光が大気を通過し望遠鏡にとらえられることになるが、大気の密度はムラがあるために、光の波面はこのために揺らいでしまう。このため、像はぼけてしまい、高精度の観測ができなくなってしまう。そこで、例えば米国特許第3731103号、第3923400号、第4141652号等に記載されている補償光学装置が使用されることになる。この補償光学装置では、反射面の形状を任意形状に可変な形状可変鏡を用い、波面の揺らぎに応じて反射面形状を歪ませ、波面が揺らいだ入射光をこの反射面で反射させることで、波面を揃えるようにしている。形状可変鏡の反射面を変形させる制御は、反射面からの反射光の一部を取り出しこれを集光し、その光強度を光検出器で検出し、この光強度から波面の揺らぎを求めて行う。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術に係る補償光学装置を用いれば、波面の補正を精度良く行うことができるので、これを天体望遠鏡に適用すればその分解能が向上し、光通信に用いれば通信効率が向上し、レーザ加工機に用いれば高精度の加工が可能になる。しかし、光検出器の検出感度以下の微弱な光の場合、波面の揺らぎを検出することができなくなってしまう。天体観測で補償光学装置が要求されるのは、非常に微弱な光しか受信できない天体の観測であり、このために光検出器を高感度のものを使用するが、限界がある。

40 【0004】本発明の目的は、光検出器の検出感度以下の光波の波面の揺らぎも検出してこれを補正することのできる補償光学装置とこれを用いた天体望遠鏡等を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】上記目的は、光波（レーザビームを含む。）の波面歪を検出し波面歪を補正する補償光学装置において、波面歪を補正する形状可変鏡

と、該形状可変鏡の反射面の特定の領域毎に光波を異なる周波数で位相変調する手段と、位相変調された光波を集光したものとレーザビームとを干渉させた後にその強度を検出する手段と、該強度から前記波面の歪みを検出し形状可変鏡を制御する手段とを設けることで、達成される。

【0006】

【作用】形状可変鏡の反射面を分割した小領域毎に異なる周波数で振動させ光波を各小領域対応に位相変調し、これを集光し検出すると、その光強度に含まれる複数の周波数成分の振幅は、各領域の光波の位相に比例する。そこで、位相変調した光波を集光したものと、同一波長のレーザとを光検出器上で干渉させることにより、上記複数の周波数成分の振幅を検出器の受光レベル以上に増幅することができる。このため、微弱な光でもその波面の揺らぎを検出することが可能となる。

【0007】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図面を参照して説明する。図1は、本発明の第1実施例に係る補償光学装置の構成図である。図1において、1は入射光、2は形状可変鏡、3はビームスプリッタ、4は形状可変鏡2で反射された反射光でありビームスプリッタ3で分割されず直進する反射光が補償光学装置の出射光となる。5は特定の波長のみ透過させるNDフィルタ、6はレンズ、7はピンホール、8は光検出器、9はレーザ発振器、10はレンズ、11はレーザビーム、12は波面制御装置、13は形状可変鏡2の駆動電源である。

*

〔要文1〕

* 【0008】補償光学装置では、形状可変鏡2の反射面の各部を進退させて所要形状にゆがませ、大気の密度差等で波面がゆがんだ入射光1をこの反射面で反射し、波面の揺らぎを出射光4として出射しようとするものである。この様に波面を揺らすことで、これを天体望遠鏡に適用すると分解能が向上し、大出力レーザ加工装置（大出力であると出力されるレーザ光自体がすでに歪んでいる場合が多い）に適用するとレーザ光の集束度が高くなつて加工精度が向上し、光通信に用いれば正確な通信ができる通信効率が向上する。

【0009】形状可変鏡2の反射面の背部に、例えば30個程度のアクチュエータを並列に並べ、各アクチュエータの進退量を制御することで、反射面の形状を変形させるのであるが、このとき、各アクチュエータを夫々異なる周波数（1 kHz程度のオーダー）で微小距離振動させ、各アクチュエータの反射面領域で反射される光に位相変調を与えるようにする。そして、反射光（出射光）4の一部をビームスプリッタ3で取り出し、NDフィルタ5に送る。NDフィルタ5は特定の波長域の光だけを透過させるものであり、入射光1と干渉させるレーザ発振器9のレーザ波長と同一の波長の光のみを透過させる。その透過光はレンズ6により焦点位置に集光され、ピンホール7を通過した光が光検出器8で検出される。各アクチュエータに対応する反射面の各領域における光放射強度 U_m は次の式で示され、

【0010】

【数1】

$$U_m = U_0 A_m \exp(j\phi_m + j\phi \sin \omega_m t)$$

但し、

U_0 :	送信放射強度
A_m :	強度分布係数
ϕ_m :	光の位相
ϕ :	位相変調振巾
ω_m :	位相変調周波数
t :	時間

【0011】レーザビーム11を加えない場合の光検出器8で検出される光強度 I_p は、次の式2となる。

【0012】

40 【数2】

[数式 2]

$$I_p = U_0^2 \left\{ \sum_{m=1}^N A_m^2 + J_0^2 \sum_{\substack{m=1 \\ k \neq m}}^N \sum_{k=1}^N A_m A_k \cos(\phi_m - \phi_k) \right. \\ \left. - 4 J_0 J_1 \sum_{\substack{m=1 \\ k \neq m}}^N \sum_{k=1}^N A_m A_k \sin(\phi_m - \phi_k) \sin \omega_m t \right\}$$

但し、

 $J_0, J_1 : 0, 1$ 次のベッセル関数

N: 光の分割数

【0013】この数式2の第4項が位相変調信号を表
し、その振幅値は次の数式3となる。

* 【0014】

* 【数3】

[数式 3]

$$S_m = -4 J_0 J_1 U_0^2 A_m \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^N A_k \sin(\phi_m - \phi_k)$$

【0015】この数式3によれば、その振幅値は対応する領域の光の位相に比例するため、波面を検出できることがわかる。

【0016】そこで、ビームスプリッタで取り出した形状可変鏡2の反射光に次の数式4の放射強度を持つレーザビーム11を干渉させたとき

【0017】

【数4】

[数式 4]

※ 【0018】それぞれの位相変調信号の振幅値は、次の数式5となる。

【0019】

【数5】

30

$$U = U_L \cdot \exp(j\theta)$$

U_L : レーザの放射強度 θ : レーザの位相

※

[数式 5]

$$S_m = -4 J_0 J_1 U_0^2 A_m \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^N A_k \sin(\phi_m - \phi_k) \\ - 2 U_0 A_m U_L J_1 \sin(\phi_m - \theta)$$

【0020】この数式5の第2項が、干渉により増幅される部分である。入射光1の強度が弱く反射光4の強度が弱くなつて、数式3で示される強度が光検出器8の受光レベル以下になった場合には、レーザビーム11を干

渉させることにより、光検出器8の受光レベル以上に増幅でき、検出が可能となる。

【0021】図1において、レーザ発振器9から出力されるレーザビーム11を、レンズ10により、レンズ6

が作る焦点位置に結像させて干渉させ、光検出器8でその強度 I_p を検出する。強度 I_p は波面制御装置12に入力され、形状可変鏡2の各アクチュエータの進退量を制御するための指令値を決定し、駆動電源13により形状可変鏡2の各アクチュエータを駆動し、波面を補正して揃える。

【0022】図2は波面制御装置12の構成図である。形状可変鏡2の反射面を分割する領域の数と同数の制御部15を設ける。各制御部15では、同期検波器16により、式5で示される振幅値を検出し、制御器18により位相の指令値を決定する。また発振器17からの出力を上記位相の指令値と加算し、駆動電源13に出力し対応するアクチュエータを駆動し、形状可変鏡2で位相変調と波面の補正を実現できる。なお、各制御部15における発振器17の発振周波数は、それぞれ異なる周波数に設定されることはいうまでもない。

【0023】図1において、NDフィルタ5の挿入位置はビームスプリッタ3とレンズ6の間としたが、レーザビーム11と干渉させる前であれば、ビームスプリッタ3の後段であればどの位置に挿入しても問題はない。またピンホール7は、レンズ6の回折限界内の光を取り出すことにより信号のS/N比を向上させるものであり、ピンホール7を省略しても信号の検出は可能である。このときは、光検出器8の受光面をレンズ6の焦点位置に設置することはいうまでもない。また、レンズ10でレーザビーム11をピンホール7上に結像させるのは、レーザビーム11の位相を揃えるためであり、レーザ発振器9から出力されるレーザビームの波面が揃っていればレンズ10を設ける必要はない。

【0024】図3は、本発明の第2実施例に係る補償光学装置の構成図である。図3に示すように、ビームスプリッタ3のところで、レーザ発振器9から出力されるレーザビーム11を、形状可変鏡2で反射され位相変調された反射光4（ビームスプリッタ3で分割した反射光）と重ねることによっても干渉させることができる。入射光1を形状可変鏡2の反射面で位相変調しながら反射した後であれば、どの位置からでもレーザビーム11を重ねることにより、位相変調信号を増幅することが可能である。光検出器8で検出した光強度 I_p を用いて上述したように形状可変鏡2を制御すれば、波面の補正が可能であることはいうまでもない。

【0025】図4は、本発明の第3実施例に係る補償光学装置の構成図である。本実施例では、形状可変鏡の代わりに液晶マトリックス19を用いている。液晶マトリックス19は液晶素子が2次元状に配列されたものであり、各素子ごとに異なる電界を加えることが可能である。液晶マトリックス19を透過する光の位相は、印加電圧を変えることにより制御可能であり、これにより位相変調及び波面の補正が可能となる。図4では、入射光1を液晶マトリックス19で位相変調及び波面の補正を

し、ビームスプリッタ3で分けられた入射光1をレーザ発振器9からのビームと干渉させて、光検出器8で検出するものである。形状可変鏡2を液晶マトリックス19に入れ替えた以外は、図1と同じ構成であり、同様の動作により波面が補正できる。また、図3で示した実施例でも述べたように、レーザ発振器9の挿入位置を変えることができることはいうまでもない。

【0026】図5は、本発明の第4実施例に係る補償光学装置の構成図である。本実施例では、形状可変鏡2と液晶マトリックス19の両方を用いている。入射光1は形状可変鏡2で波面が補正されたあと、ビームスプリッタ3で分けられ、一方はNDフィルタ5を透過し、液晶マトリックス19で液晶素子毎に異なる周波数で位相変調される。位相変調された光はレンズ6で集光され、これとレーザビーム11とが干渉され、光検出器8で強度 I_p が検出される。強度 I_p を用いて波面を検出し形状可変鏡2で波面を制御するのは、上述した実施例と同様である。

【0027】図6は、天体望遠鏡に、上述した補償光学装置を適用したときの構成図である。天体21を観測する天体望遠鏡22において、観測する光をレンズ6で平行光にし、補償光学装置20への入射光1とする。補償光学装置20では、上述した方法により波面を補正し、大気の揺らぎにより乱れた入射光1の波面を揃える。これにより、分解能が向上する。また、本実施例によれば、従来は補正が不可能だった暗い天体からの光も補正可能となる。なお、観測装置23においては、積分型の撮像管を用いることにより天体像を観測できる。

【0028】図7は、天体望遠鏡の別実施例の構成図である。観測対象とする天体21からの光が弱く、波面の検出ができない場合の対策として、レーザ発振器9を用い、観測対象の天体21と同じ方向にレーザビーム11を出射し、大気により散乱されるレーザビームを計測し、波面の乱れを検出するものである。レーザビームの伝搬経路の総べてから散乱光が天体望遠鏡22に戻って来るが、天体望遠鏡22の視野を絞ることにより、天体と同様の点光源とみなすことができる。これをレーザガイド星25と呼んでいる。天体21からの光の波面とレーザガイド星25からの光の波面との差を小さくするには、レーザガイド星25の高度を上げる必要があるが、レーザビームは大気により減衰するため大出力のレーザ発振器9が必要となる。そこで本発明の補償光学装置20を用いれば波面検出のための信号を増幅できるため、レーザ発振器9の出力を抑えることができる。

【0029】次に、図8を用い、離れた2点間をレーザビームによりデータの送受信を行うレーザデータリンクに補償光学装置を適用した実施例について説明する。図8において、上部と下部は同一の装置構成となっており、レーザビームを介してデータの送受信を行うものである。まず上部から下部へ送信する場合について説明す

る。データ送信装置 28a で送信すべきデータをレーザの変調信号に変換し、レーザ発振器 9a よりレーザを出力する。そのレーザビームは形状可変鏡 2a、ミラー 3 及び送信光学系 27a を介して遠方の受信光学系の方向へ送信される。下部の送信光学系 27b からも同様にレーザビームが送信されており、上部の受信光学系 26a では、そのレーザビームを受信しビームスプリッタ 3a により一方は光検出器 8a で電気信号に変換されデータ受信装置で情報として受け取る。他方は形状可変鏡 2b を介して補償光学装置 20a に入力され、形状可変鏡 2b でレーザビームの波面歪を補正する。補償光学装置 20a から形状可変鏡 2b へ与えられる指令と同じ制御信号を形状可変鏡 2a にも出し、レーザ発振器 9a から出力されるレーザビームの波面を補正し、送信するものである。両方の送受信装置が遠く離れている場合には、双方のレーザビームは同一の伝搬経路を通過と考えてよく、したがって上述の方法で送信するレーザビームの波面を補正できる。このようにレーザビームの波面を補正することにより、受信位置でのエネルギー密度を高めることができる。いま、上部から下部へ送信する場合について説明したが、その逆の場合も同様の動作によりレーザビームの波面を補正できることはいうまでもない。

【0030】次に、図 9 を用い、レーザビームで材料を切断したり溶接するレーザ加工機に補償光学装置を適用した実施例について説明する。図 9において、レーザ発振器 9 から出力されるレーザビームは、形状可変鏡 2 及びレンズ 6a を介して加工材 30 上に照射される。加工材 30 の表面で反射される光をレンズ 6b で受光し光検出器 8 で検出する。またレーザ発振器 9 から出力されるレーザビームの一部をビームスプリッタ 3a、レンズ 6b 及びビームスプリッタ 3b を用いて、加工材 30 からの反射光と干渉させる。これにより、形状可変鏡 2 を制御することで、加工材 30 に照射されるレーザの波面が揃い、精度の高い加工が可能となる。本実施例を採用することで、加工材 30 からの反射波が弱い場合でもレーザ波面を検出し補正することができる。レーザ加工機の場合はレーザ出力が高いため、大気の揺らぎのほかレーザによる光学系の熱変形により波面がひずむので、補償光学系を適用することで、常に高いエネルギー密度で加工材 30 を照射することができる。

【0031】

【発明の効果】本発明によれば、波面を補正しようとする光をレーザビームとの干渉を用いて増幅し波面を検出するため、光検出器の検出限界以下の弱い光の波面を補正することができる。

【0032】このため、天体望遠鏡に適用すると、暗い天体からの光の波面の補正が可能となり、高い分解能で観測できる領域が広がるという効果を奏する。更に、弱い光の波面を検出するために、波面のみだれを検出すために作るレーザガイド星の生成用レーザ発振器の出力を小さくできる。

【0033】通信に適用した場合には、レーザビームの伝搬中に生じる波面の乱れによるビームの拡がりを抑えることができ、高い到達エネルギー密度が得られ、送信レーザ出力を小さくできる。

【0034】レーザ加工機に適用した場合には、伝搬中に生じる波面の乱れの他に高いレーザエネルギーによる光学系の歪によるビームの拡がりを抑えることができ、加工材に照射されるレーザスポットを小さくできるため、正確な加工が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施例に係る補償光学装置の構成図である。

【図 2】図 1 に示す波面制御装置の構成図である。

【図 3】本発明の第 2 実施例に係る補償光学装置の構成図である。

【図 4】本発明の第 3 実施例に係る補償光学装置の構成図である。

【図 5】本発明の第 4 実施例に係る補償光学装置の構成図である。

【図 6】本発明の一実施例に係る天体望遠鏡の構成図である。

【図 7】本発明の他の実施例に係る天体望遠鏡の構成図である。

【図 8】本発明の一実施例に係るレーザデータリンクの構成図である。

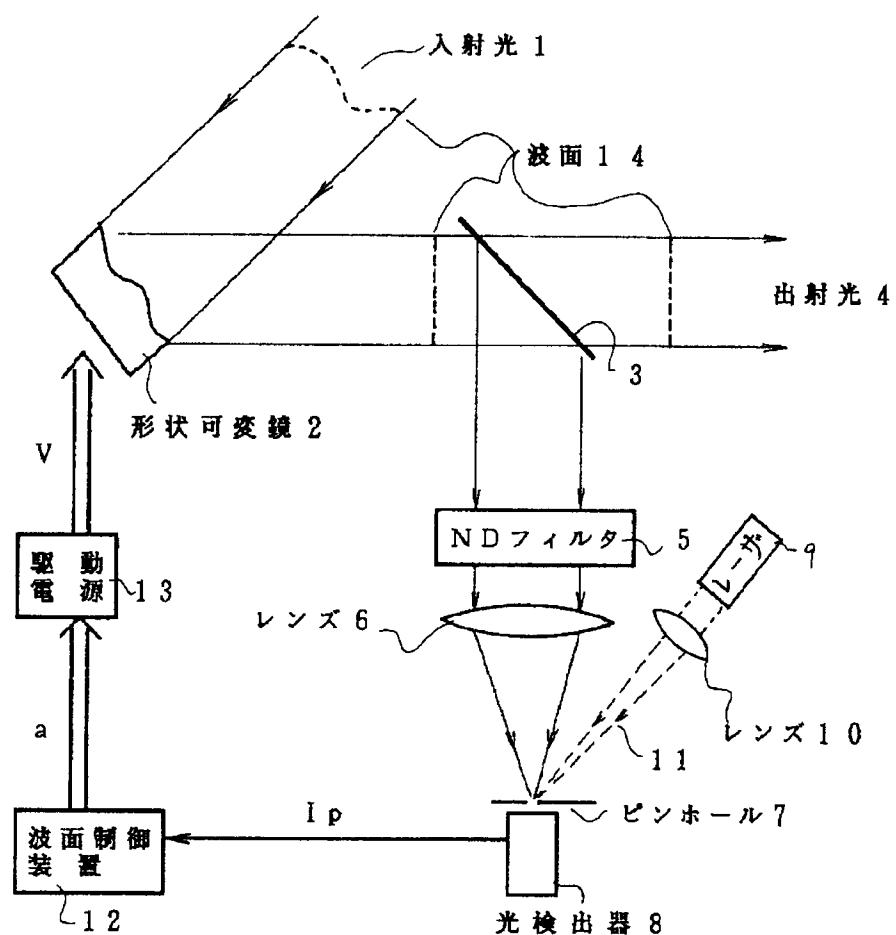
【図 9】本発明の一実施例に係るレーザ加工機の構成図である。

【符号の説明】

1…入射光、2…形状可変鏡、3…ビームスプリッタ、4…出射光、5…ND フィルタ、6…レンズ、7…ピンホール、8…光検出器、9…レーザ発振器、10…レンズ、11…レーザビーム、12…波面制御装置、13…駆動電源、14…波面、15…制御部、16…同期検波器、17…発振器、18…制御器、19…液晶マトリックス、20…補償光学装置、21…天体、22…天体望遠鏡、23…観測装置、24…チルトミラー、25…レーザガイド星、26…受信光学系、27…送信光学系、28…送信装置、29…受信装置、30…加工材。

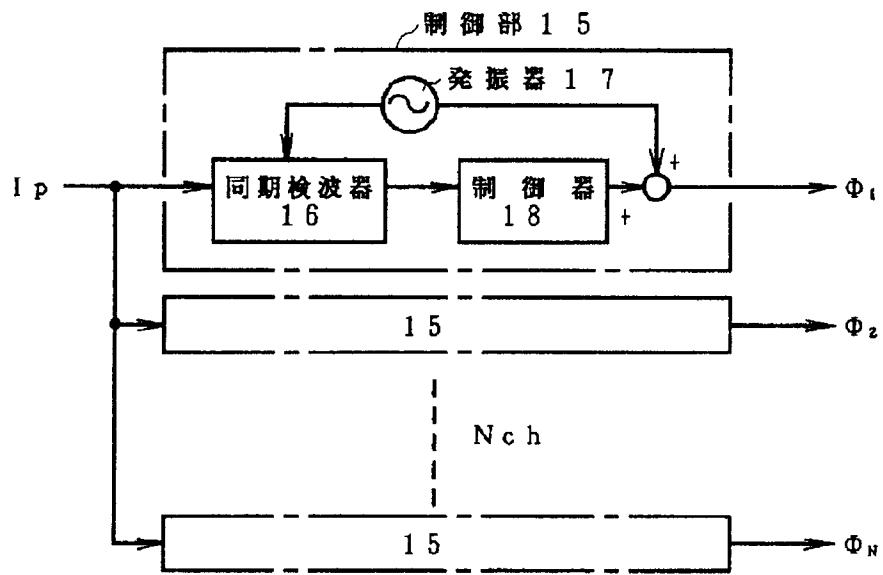
【図1】

[図 1]



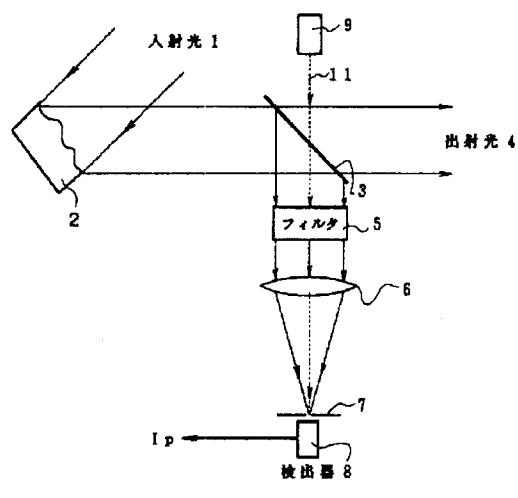
【図2】

[図2]



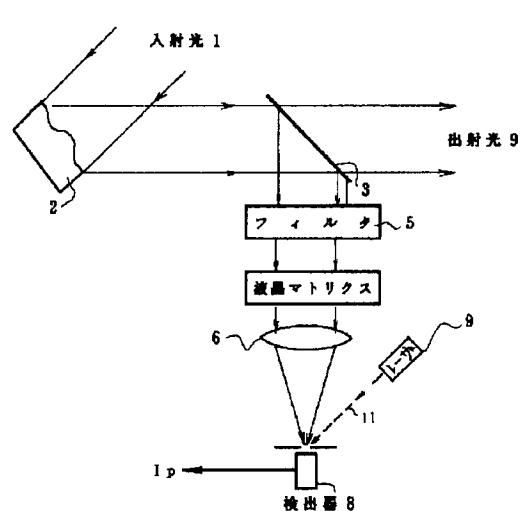
【図3】

[図3]



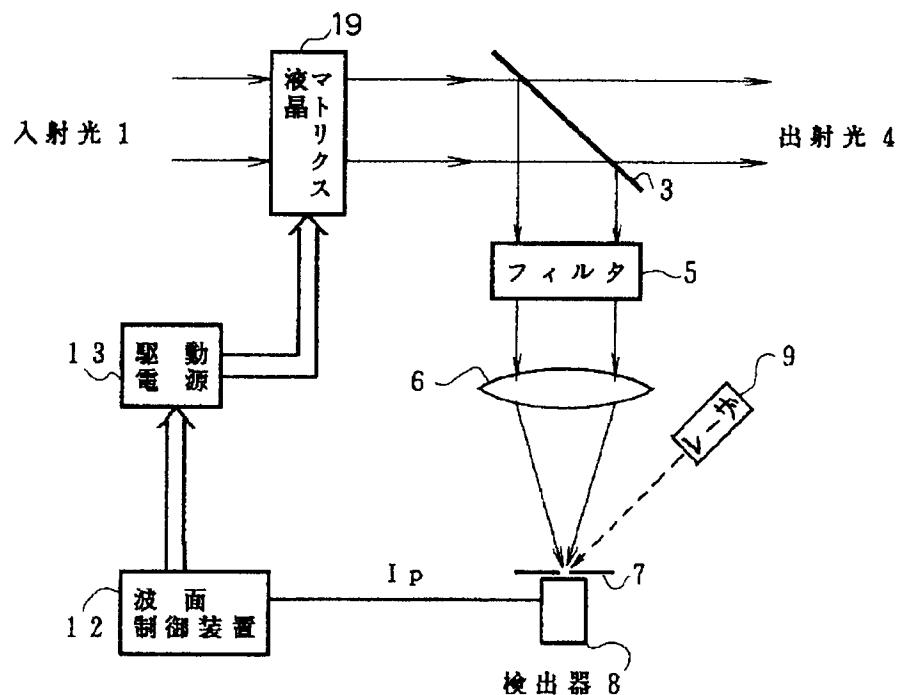
【図5】

[図5]



【図4】

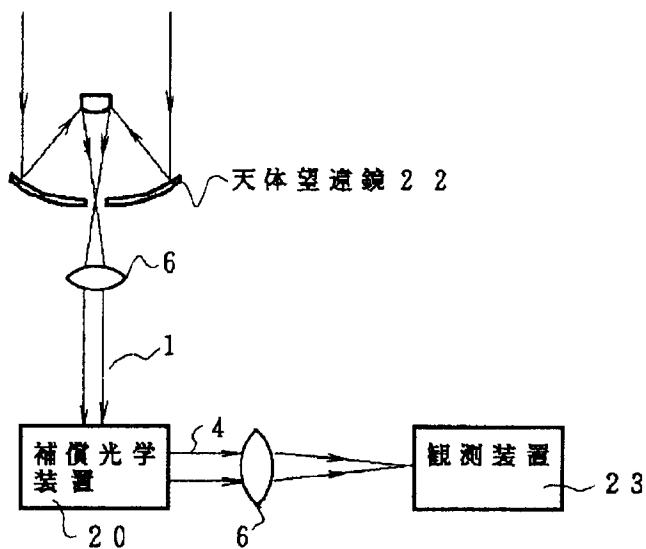
[図4]



【図6】

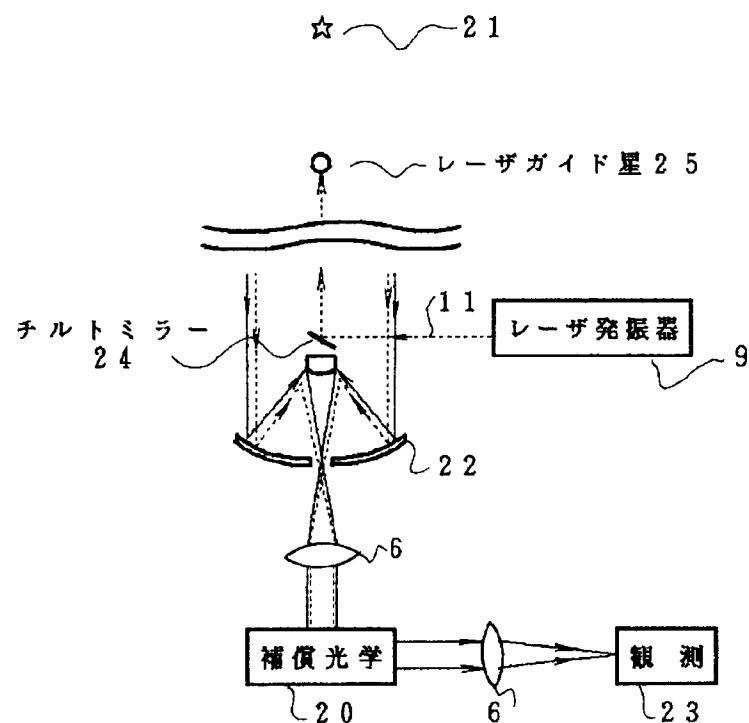
[図6]

☆～天体 2 1



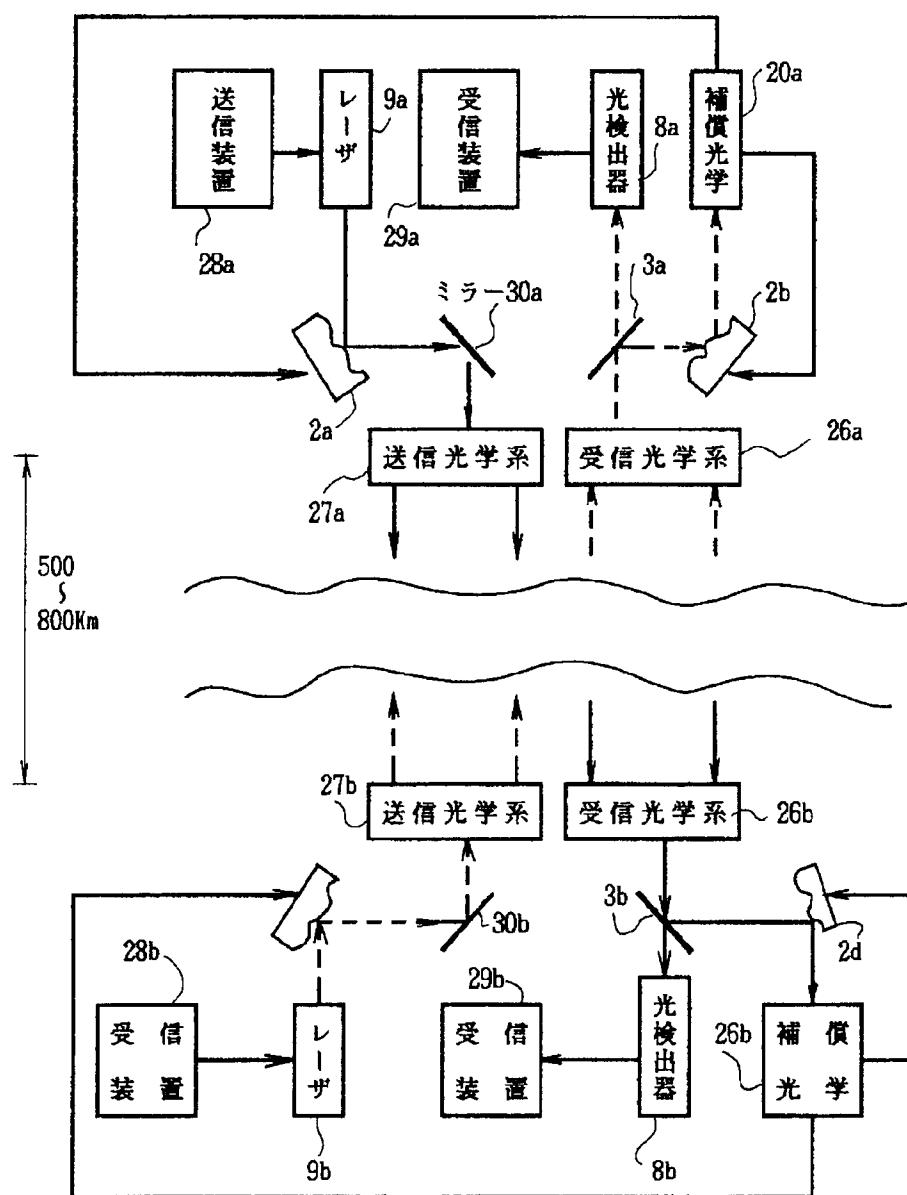
【図7】

[図7]



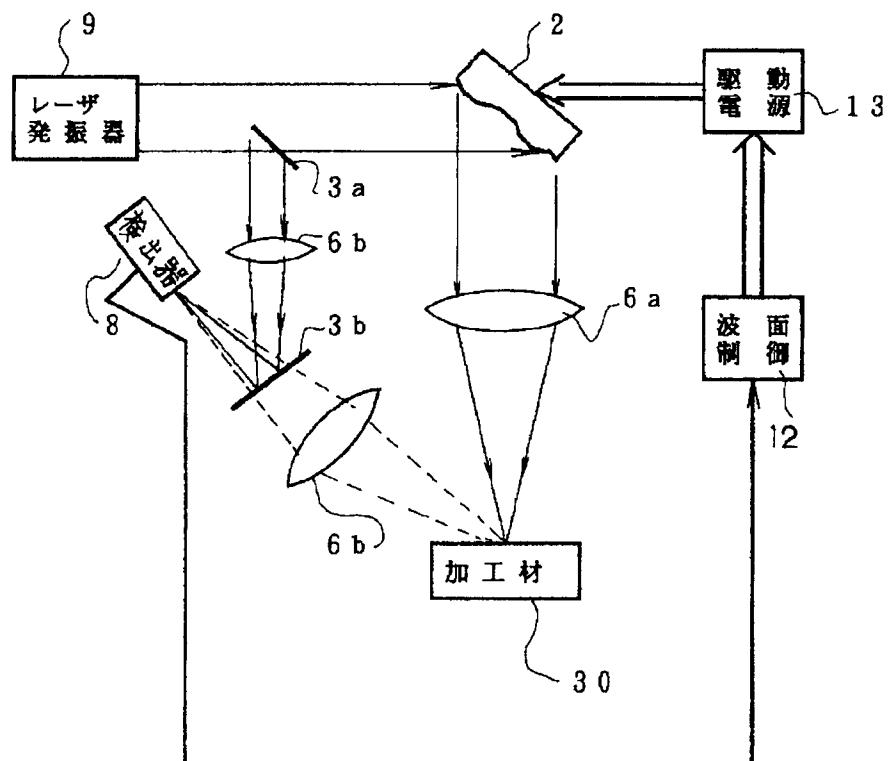
【図8】

[図 8]



【図9】

[図 9]



フロントページの続き

(51) Int.Cl.⁵

G 02 F 1/13

識別記号

府内整理番号

505

9017-2K

F I

技術表示箇所